

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 516 019 A2**

(12)

# EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **92108789.6**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>: **C08F 4/642, C08F 10/00**

(22) Anmeldetag: **25.05.92**

(30) Priorität: **27.05.91 DE 4117260**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**02.12.92 Patentblatt 92/49**

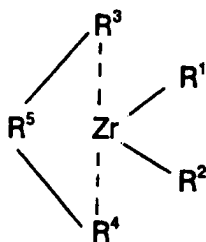
(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH DE ES FR GB IT LI LU NL SE**

(71) Anmelder: **HOECHST AKTIENGESELLSCHAFT**  
**Postfach 80 03 20**  
**W-6230 Frankfurt am Main 80(DE)**

(72) Erfinder: **Winter, Andreas, Dr.**  
**Taubusblick 10**  
**W-6246 Glashütten 2(DE)**  
Erfinder: **Dolle, Volker, Dr.**  
**Hattersheimer Strasse 15**  
**W-6233 Kelkheim am Taunus(DE)**  
Erfinder: **Spaleck, Walter, Dr.**  
**Sulzbacher Strasse 63**  
**W-6237 Liederbach(DE)**

(54) **Verfahren zur Herstellung von syndiotaktischen Polyolefinen mit breiter Molmassenverteilung.**

(57) Syndiotaktische Polyolefine mit einer Molmassenverteilung  $M_w/M_n \geq 3$ , die monomodal, bimodal oder multimodal sein kann, erhält man durch Polymerisation oder Copolymerisation von Olefinen der Formel  $RCH=CHR$ , bei der ein Katalysatorsystem bestehend aus einem Aluminoxan und einer Übergangsmetallkomponente (Metallocen) verwendet wird, wobei die Übergangsmetallkomponente aus mindestens 2 Metallocenen der Formel



(I)

besteht, die stereorigid sind und deren Molekülteil, der durch Zr und die Substituenten  $R^1 - R^4$  gebildet wird,  $C_s$ -Symmetrie oder leicht gestörte  $C_s$ -Symmetrie aufweist.

EP 0 516 019 A2

Von Metallocenkatalysatoren in Verbindung mit Aluminoxanen als Cokatalysatoren ist bekannt, daß bei ihrem Einsatz Olefine zu Polyolefinen mit enger Molmassenverteilung, Mw/Mn von 2-3, polymerisiert werden können (J. Polym. Sci, Pol. Chem. Ed. 23 (1985) 2117, EP-A 302 424).

Solche eng verteilten Polyolefine eignen sich beispielsweise für Anwendungen im Präzisionsspritzguß, Spritzguß allgemein und für die Faserherstellung. Für zahlreiche Anwendungen wie beispielsweise Tiefziehen, Extrudieren, Hohlkörperblasformen sowie für die Herstellung von Polyolefinschäumen und Folien werden breitere oder bimodale Molmassenverteilungen gefordert.

Für Polyethylen wurde vorgeschlagen, solche Produkte durch Verwendung von zwei oder mehr Metallocen-Katalysatoren in der Polymerisation zu realisieren (EP-A-128 045). Die beschriebenen Systeme sind achirale Katalysatoren und würden bei der Polymerisation von Propen ataktisches Polypropylen liefern. Ataktisches Polypropylen ist jedoch als Konstruktionswerkstoff ungeeignet.

Die Herstellung von Stereoblockpolypropylen mit Mw/Mn von 13-15 ist aus DE-OS 36 40 924 bekannt. Die dort beschriebenen Katalysatorsysteme sind ebenfalls nicht geeignet, Polyolefine hoher Taktizität zu bilden. Ferner sind die bei technisch relevanten Polymerisationstemperaturen realisierbaren Molmassen zu niedrig.

In der EP-A 310 734 werden Polymerisationssysteme bestehend aus einer Mischung eines Hafnocens und eines Zirkonocens, die beide chiral und stereorigid sind, zur Herstellung von hochisotaktischem Polypropylen vorgeschlagen. Die erhaltenen Produkte haben breite bis bimodale Verteilungen mit Mw/Mn zwischen 3,7 und 10,3.

Unter Verwendung nur eines Hafnocenkatalysators wird bei einer bestimmten Polymerisationstemperatur gemäß EP-A 355 439 breitverteiltes isotaktisches Polypropylen erhalten.

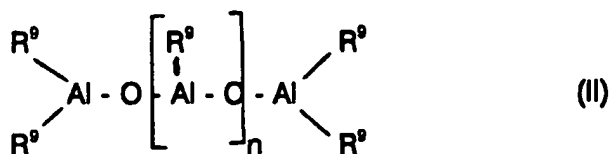
Syndiotaktisches Polypropylen mit breiter oder bimodaler Verteilung (Mw/Mn > 6,4) wird in der EP-A 387 691 unter Verwendung eines Hafnocenkatalysators hergestellt.

Nachteile dieser Verfahren sind die für industrielle Anwendungen zu hohen Kosten für Hafniumkatalysatoren in Verbindung mit ihrer niedrigen Polymerisationsaktivität, die zusätzlich noch eine umfassende kostenintensive Reinigung des hergestellten Polymeren von Katalysatorresten erforderlich macht.

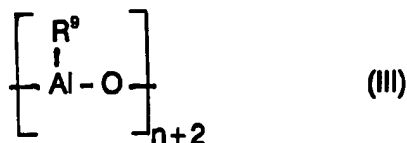
Es bestand somit die Aufgabe, ein Katalysatorsystem und ein Verfahren zu finden, mittels dessen syndiotaktische Polyolefine mit breiter bis bimodaler Verteilung hergestellt werden können, welche sich für industrielle Anwendungen eignen.

Gelöst wird die Aufgabe durch Verwendung eines Katalysatorsystems bestehend aus mindestens zwei speziellen Zirkonocenen, die stereorigid und prochiral, nicht jedoch zwingend chiral sind, und die C<sub>s</sub>-Symmetrie oder nur leicht gestörte C<sub>s</sub>-Symmetrie aufweisen, und einer Aluminiumverbindung als Cokatalysator.

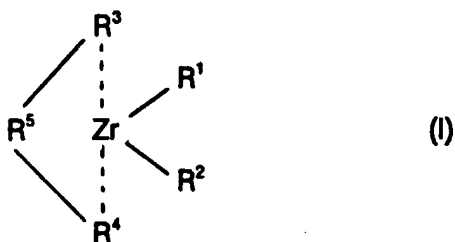
Die Erfindung betrifft somit ein Verfahren zur Herstellung eines syndiotaktischen Polyolefins mit einer Molmassenverteilung Mw/Mn ≥ 3, die monomodal, bimodal oder multimodal sein kann, durch Polymerisation oder Copolymerisation eines Olefins der Formel R<sup>a</sup>CH = CHR<sup>b</sup>, worin R<sup>a</sup> und R<sup>b</sup> gleich oder verschieden sind und ein Wasserstoffatom oder einen Alkylrest mit 1 bis 14 C-Atomen bedeuten, oder R<sup>a</sup> und R<sup>b</sup> mit den sie verbindenden Atomen einen Ring bilden können, bei einer Temperatur von -60 bis 200 °C, bei einem Druck von 0,5 bis 100 bar, in Lösung, in Suspension oder in der Gasphase, in Gegenwart eines Katalysators, welcher aus einer Übergangsmetallkomponente (Metallocen) und einem Aluminoxan der Formel II



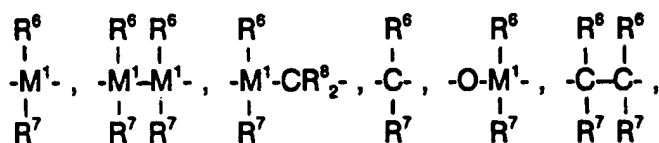
für den linearen Typ und/oder der Formel III



für den cyclischen Typ, wobei in den Formeln II und III die Reste  $R^9$  gleich oder verschieden sein können und eine  $C_1$ - $C_6$ -Alkylgruppe, eine  $C_1$ - $C_6$ -Fluoralkylgruppe, eine  $C_6$ - $C_{18}$ -Arylgruppe, eine  $C_6$ - $C_{18}$ -Fluorarylgruppe oder Wasserstoff bedeuten und  $n$  eine ganze Zahl von 0 bis 50 ist, oder anstelle des Aluminosans aus einer Mischung eines Aluminosans der Formel II und/oder der Formel III mit einer Verbindung  $AlR^9_3$  besteht, dadurch gekennzeichnet, daß als Übergangsmetallkomponente mindestens 2 Metallocene der Formel I



verwendet werden, die stereorigid sind und deren Molekülteil, der durch Zr und die Substituenten  $R^1$ - $R^4$  gebildet wird,  $C_s$ -Symmetrie oder leicht gestörte  $C_s$ -Symmetrie aufweist, wobei  $R^1$  und  $R^2$  gleich oder verschieden sind und ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, eine  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkylgruppe, eine  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkoxygruppe, eine  $C_6$ - $C_{10}$ -Arylgruppe, eine  $C_6$ - $C_{10}$ -Aryloxygruppe, eine  $C_2$ - $C_{10}$ -Alkenylgruppe, eine  $C_7$ - $C_{40}$ -Arylalkylgruppe, eine  $C_7$ - $C_{40}$ -Alkylarylgruppe oder eine  $C_8$ - $C_{40}$ -Arylalkenylgruppe bedeuten,  $R^3$  und  $R^4$  verschieden sind und einen ein- oder mehrkernigen Kohlenwasserstoffrest, welcher mit dem Zentralatom Zr eine Sandwichstruktur bilden kann, bedeuten,



=  $BR^6$ , =  $AlR^6$ , -Ge-, -Sn-, -O-, -S-, = SO, =  $SO_2$ , =  $NR^6$ , = CO, =  $PR^6$  oder =  $P(O)R^6$  ist, wobei  $R^6$ ,  $R^7$  und  $R^8$  gleich oder verschieden sind und ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, eine  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkylgruppe, eine  $C_1$ - $C_{10}$ -Fluoralkylgruppe, eine  $C_6$ - $C_{10}$ -Fluorarylgruppe, eine  $C_6$ - $C_{10}$ -Arylgruppe, eine  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkoxygruppe, eine  $C_2$ - $C_{10}$ -Alkenylgruppe, eine  $C_7$ - $C_{40}$ -Arylalkylgruppe, eine  $C_8$ - $C_{40}$ -Arylalkenylgruppe oder eine  $C_7$ - $C_{40}$ -Alkylarylgruppe bedeuten oder  $R^6$  und  $R^7$  oder  $R^6$  und  $R^8$  jeweils mit den sie verbindenden Atomen einen Ring bilden, und  $M^1$  Silizium, Germanium oder Zinn ist.

Dabei steht Alkyl für geradkettiges oder verzweigtes Alkyl und Halogen bevorzugt für Fluor oder Chlor, insbesondere für Chlor.

Der Begriff  $C_s$ -Symmetrie bedeutet für die Zwecke der vorliegenden Erfindung, daß die Metallocene I in dem Molekülteil Zr,  $R^1$ - $R^4$  senkrecht zur Ebene, die von Zr,  $R^1$  und  $R^2$  aufgespannt wird, eine Spiegelebene besitzen. Die Winkelhalbierende von  $\angle R^1-Zr-R^2$  verläuft in dieser Spiegelebene.

Im Fall der leicht gestörten  $C_s$ -Symmetrie kann  $R^1$  ungleich  $R^2$  sein, oder die Reste  $R^3$  und/oder  $R^4$  sind substituiert (wie z.B. Methylcyclopentadienyl).

Bevorzugt sind Metallocene, deren  $C_s$ -Symmetrie nicht gestört ist.

Dabei ist zu beachten, daß der Begriff  $C_s$ -Symmetrie und dessen Bedeutungsumfang durch eine

formale (idealisierte) Betrachtung des Metallocenmoleküls I bestimmt sind. Das bedeutet, daß Verschiebungen im genannten Molekülteil, z.B. hervorgerufen durch die Brücke R<sup>5</sup>, die sich bei einer vollständigen Strukturaufklärung (Röntgenstrukturanalyse) ergeben würden und bei strenger Betrachtung nicht als C<sub>s</sub>-symmetrisch bezeichnet werden könnten, für die Zwecke der vorliegenden Erfindung unberücksichtigt bleiben.

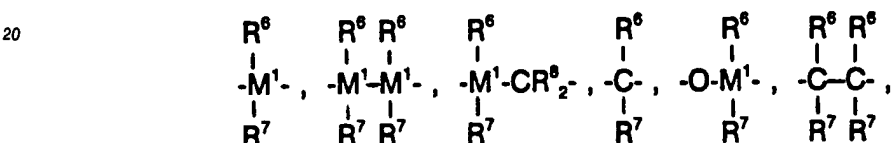
Für die Formel I gilt ferner:

R<sup>1</sup> und R<sup>2</sup> sind gleich oder verschieden, bevorzugt gleich, und bedeuten ein Wasserstoffatom, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-, vorzugsweise C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub>-Alkylgruppe, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-, vorzugsweise C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub>-Alkoxygruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-, vorzugsweise C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub>-Arylgruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-, vorzugsweise C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub>-Aryloxygruppe, eine C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-, vorzugsweise C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>-Alkenylgruppe, eine C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-, vorzugsweise C<sub>7</sub>-C<sub>10</sub>-Arylalkylgruppe, eine C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-, vorzugsweise C<sub>7</sub>-C<sub>12</sub>-Alkylarylgruppe, eine C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub>-, vorzugsweise C<sub>8</sub>-C<sub>12</sub>-Arylalkenylgruppe oder ein Halogenatom, vorzugsweise Chlor,

R<sup>3</sup> und R<sup>4</sup> sind verschieden und bedeuten einen ein- oder mehrkernigen Kohlenwasserstoffrest, welcher mit dem Zentralatom Zr eine Sandwichstruktur bilden kann.

Bevorzugt sind R<sup>3</sup> und R<sup>4</sup> Fluorenyl und Cyclopentadienyl, wobei die Grundkörper noch zusätzliche Substituenten in der Bedeutung von R<sup>6</sup> tragen können.

R<sup>5</sup> ist eine ein- oder mehrgliedrige Brücke, welche die Reste R<sup>3</sup> und R<sup>4</sup> verknüpft und bedeutet



25

= BR<sup>6</sup>, = AlR<sup>6</sup>, -Ge-, -Sn-, -O-, -S-, = SO, = SO<sub>2</sub>, = NR<sup>6</sup>, = CO, = PR<sup>6</sup> oder = P(O)R<sup>6</sup> ist, wobei R<sup>6</sup>, R<sup>7</sup> und R<sup>8</sup> gleich oder verschieden sind und ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, vorzugsweise Chlor, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-, vorzugsweise C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub>-Alkylgruppe, insbesondere Methylgruppe, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Fluoralkylgruppe, vorzugsweise CF<sub>3</sub>-Gruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Fluorarylgruppe, vorzugsweise Pentafluorphenylgruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-, vorzugsweise C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub>-Arylgruppe, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-, vorzugsweise C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-Alkoxygruppe, insbesondere Methoxygruppe, eine C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-, vorzugsweise C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>-Alkenylgruppe, eine C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-, vorzugsweise C<sub>7</sub>-C<sub>10</sub>-Arylalkylgruppe, eine C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub>-, vorzugsweise C<sub>8</sub>-C<sub>12</sub>-Arylalkenylgruppe oder eine C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-, vorzugsweise C<sub>7</sub>-C<sub>12</sub>-Alkylarylgruppe bedeuten, oder R<sup>6</sup> und R<sup>7</sup> oder R<sup>6</sup> und R<sup>8</sup> bilden jeweils zusammen mit den sie verbindenden Atomen einen Ring.

M<sup>1</sup> ist Silizium, Germanium oder Zinn, bevorzugt Silizium oder Germanium.

R<sup>5</sup> ist vorzugsweise = CR<sup>6</sup>R<sup>7</sup>, = SiR<sup>6</sup>R<sup>7</sup>, = GeR<sup>6</sup>R<sup>7</sup>, -O-, -S-, = SO, = PR<sup>6</sup> oder = P(O)R<sup>6</sup>. Die vorstehend beschriebenen Metallocene können nach folgendem allgemeinen Reaktionsschema hergestellt werden:

40

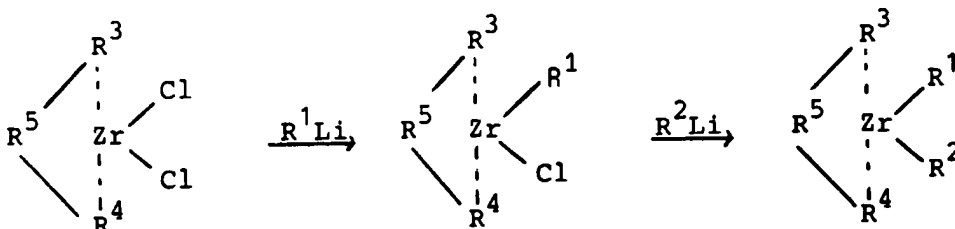


45

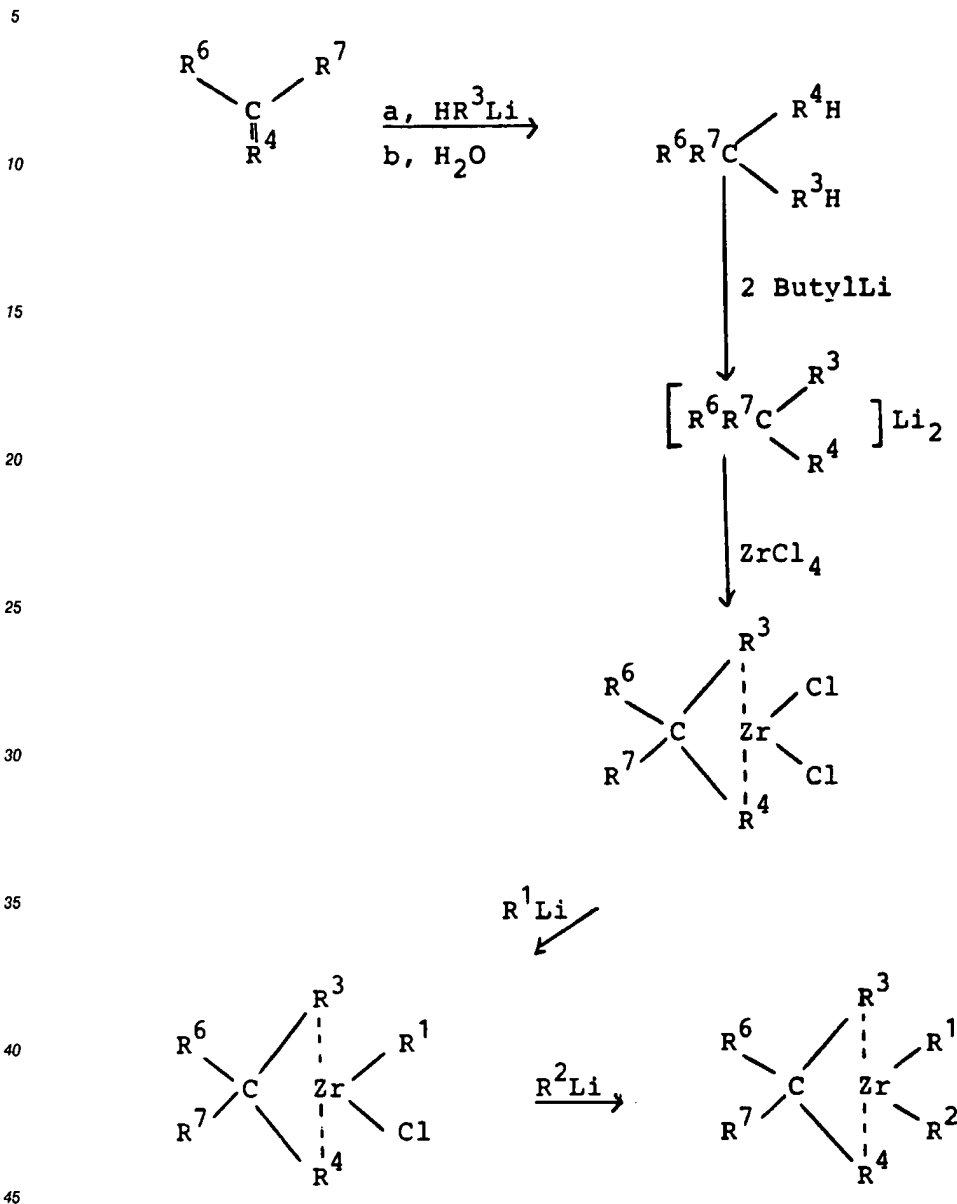


50

55



(X = Cl, Br, J, O-Tosyl)  
 oder  
 $\text{H}_2\text{R}^3 + \text{ButylLi} \rightarrow \text{HR}^3\text{Li}$



(vgl. Journal of Organometallic Chem. 288 (1985) 63 - 67 und EP-A 320 762).

Die Auswahl der Metallocene für die Polymerisation von Olefinen zu breit- oder mehrmodal verteiltem Polyolefin kann durch jeweils eine Testpolymerisation pro Metallocen erfolgen (vgl. Ausführungsbeispiele). Dabei wird das Olefin zum Polyolefin polymerisiert und dessen mittleres Molekulargewicht  $\text{M}_w$  sowie dessen Molmassenverteilung  $\text{M}_w/\text{M}_n$  mittels Gelpermeationschromatographie bestimmt. Je nach gewünschter Molmassenverteilung werden dann die Metallocene kombiniert. Unter Einbezug der Polymerisationsaktivitäten ist man z.B. mittels Computersimulation der kombinierten Gelpermeationskurven ohne weiteres in der Lage, über die Art der Metallocene und über das Mengenverhältnis der Metallocene untereinander jede gewünschte Molmassenverteilung zu erzielen.

Die Zahl der erfindungsgemäß zu verwendenden Metallocene 1 beträgt bevorzugt 2 oder 3, insbesondere 2. Es kann jedoch auch eine große Anzahl (wie z.B. 4 oder 5) eingesetzt werden.

Unter Einbeziehung der Polymerisationsaktivitäten und Molmassen bei unterschiedlichen Polymerisationstemperaturen, in Gegenwart von Wasserstoff als Molmassenregler oder in Gegenwart von Comonomeren, kann das Rechensimulationsmodell noch weiterverfeinert und die Anwendbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens noch verbessert werden.

- 5 Bevorzugt eingesetzte Metallocene sind (Arylalkyliden)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid, (Diarylmethylen)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid und (Dialkylmethylen)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid.

Besonders bevorzugt sind dabei (Methyl(phenyl)methylen)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid sowie (Diphenylmethylen)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid und (Dimethylmethylen)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid.

- 10 Als Cokatalysator wird ein Aluminoxan der Formeln II und/oder III verwendet, wobei n eine ganze Zahl von 0 - 50, bevorzugt 10 - 35, bedeutet.

Bevorzugt sind die Reste  $R^9$  gleich und bedeuten Methyl, Isobutyl, Phenyl oder Benzyl, besonders bevorzugt Methyl.

- 15 Sind die Reste  $R^9$  unterschiedlich, so sind sie bevorzugt Methyl und Wasserstoff oder alternativ Methyl und Isobutyl, wobei Wasserstoff bzw. Isobutyl bevorzugt zu 0,01 - 40 % (Zahl der Reste  $R^9$ ) enthalten sind.

Statt des Aluminoxans kann auch eine Mischung bestehend aus Aluminoxan und  $AlR^9$  verwendet werden. Das Aluminoxan kann auf verschiedene Arten nach bekannten Verfahren hergestellt werden. Eine der Methoden ist beispielsweise, daß eine Aluminiumkohlenwasserstoffverbindung und/oder eine Hydridoaluminiumkohlenwasserstoffverbindung mit Wasser (gasförmig, fest, flüssig oder gebunden - beispielsweise als Kristallwasser) in einem inerten Lösungsmittel (wie z.B. Toluol) umgesetzt wird. Zur Herstellung eines Aluminoxans mit verschiedenen Alkylgruppen  $R^9$  werden entsprechend der gewünschten Zusammensetzung zwei verschiedene Aluminiumtrialkyle ( $AlR_3 + AlR'_3$ ) mit Wasser umgesetzt (vgl. S. Pasynkiewicz, Polyhedron 9 (1990) 429 und EP-A 302 424).

- 25 Die genaue Struktur der Aluminoxane II und III ist nicht bekannt.

Unabhängig von der Art der Herstellung ist allen Aluminoxanlösungen ein wechselnder Gehalt an nicht umgesetzter Aluminiumausgangsverbindung, die in freier Form oder als Addukt vorliegt, gemeinsam.

- Es ist möglich, die Metallocene vor dem Einsatz in der Polymerisationsreaktion jeweils getrennt oder zusammen als Mischung mit einem Aluminoxan der Formel (II) und/oder (III) vorzuaktivieren. Dadurch wird 30 die Polymerisationsaktivität deutlich erhöht und die Kornmorphologie verbessert.

Die Voraktivierung der Metallocene wird in Lösung vorgenommen. Bevorzugt werden dabei die Metallocene als Feststoff in einer Lösung des Aluminoxans in einem inerten Kohlenwasserstoff aufgelöst. Als inerter Kohlenwasserstoff eignet sich ein aliphatischer oder aromatischer Kohlenwasserstoff. Bevorzugt wird Toluol oder ein  $C_6$ - $C_{10}$ -Kohlenwasserstoff verwendet.

- 35 Die Konzentration des Aluminoxans in der Lösung liegt im Bereich von ca. 1 Gew.-% bis zur Sättigungsgrenze, vorzugsweise von 5 bis 30 Gew.-%, jeweils bezogen auf die Gesamtlösung. Die Metallocene können in der gleichen Konzentration eingesetzt werden, vorzugsweise werden sie jedoch in einer Menge von  $10^{-4}$  1 mol pro mol Aluminoxan eingesetzt. Die Voraktivierungszeit beträgt 5 Minuten bis 60 Stunden, vorzugsweise 5 bis 60 Minuten. Man arbeitet bei einer Temperatur von  $-78^\circ\text{C}$  bis  $100^\circ\text{C}$ , 40 vorzugsweise 0 bis  $70^\circ\text{C}$ .

Die Metallocene können auch vorpolymerisiert oder auf einen Träger aufgebracht werden. Zur Vorpolymerisation wird bevorzugt das (oder eines der) in der Polymerisation eingesetzte(n) Olefin(e) verwendet.

- Geeignete Träger sind beispielsweise Silikagele, Aluminiumoxide, festes Aluminoxan oder andere anorganische Trägermaterialien. Ein geeignetes Trägermaterial ist auch ein Polyolefinpulver in feinverteilter 45 Form.

Eine weitere mögliche Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß man an Stelle oder neben eines Aluminoxans eine salzartige Verbindung der Formel  $R_xNH_{4-x}BR'_4$  oder der Formel  $R_3PHBR'_4$  als Cokatalysator verwendet. Dabei sind  $x = 1, 2$  oder  $3$ ,  $R = \text{Alkyl}$  oder  $\text{Aryl}$ , gleich oder verschieden, und  $R' = \text{Aryl}$ , das auch fluoriert oder teilfluoriert sein kann. In diesem Fall besteht der 50 Katalysator aus dem Reaktionsprodukt der Metallocene mit einer der genannten Verbindungen (vgl. EP-A 277 004).

- Zur Entfernung von im Olefin vorhandener Katalysatorgifte ist eine Reinigung mit einem Aluminiumalkyl, beispielsweise  $AlMe_3$  oder  $AlEt_3$  vorteilhaft. Diese Reinigung kann sowohl im Polymerisationssystem selbst erfolgen, oder das Olefin wird vor der Zugabe in das Polymerisationssystem mit der Al-Verbindung in 55 Kontakt gebracht und anschließend wieder abgetrennt.

Die Polymerisation oder Copolymerisation wird in bekannter Weise in Lösung, in Suspension oder in der Gasphase, kontinuierlich oder diskontinuierlich, ein- oder mehrstufig bei einer Temperatur von  $-60$  bis  $200^\circ\text{C}$ , vorzugsweise  $20$  bis  $80^\circ\text{C}$ , durchgeführt. Polymerisiert oder copolymerisiert werden Olefine der

Formel  $R^a-CH=CH-R^b$ . In dieser Formel sind  $R^a$  und  $R^b$  gleich oder verschieden und bedeuten ein Wasserstoffatom oder einen Alkylrest mit 1 bis 14 C-Atomen.  $R^a$  und  $R^b$  können jedoch auch mit den sie verbindenden C-Atomen einen Ring bilden. Beispiele für solche Olefine sind Ethylen, Propylen, 1-Buten, 1-Hexen, 4-Methyl-1-penten, 1-Octen, Norbornen oder Norbornadien. Insbesondere werden Propylen und

5 Ethylen polymerisiert.

Als Molmassenregler wird, falls erforderlich, Wasserstoff zugegeben.

Der Gesamtdruck im Polymerisationssystem beträgt 0,5 bis 100 bar. Bevorzugt ist die Polymerisation in dem technisch besonders interessanten Druckbereich von 5 bis 64 bar.

Dabei werden die Metallocene in einer Konzentration, bezogen auf das Übergangsmetall, von  $10^{-3}$  bis  $10^{-8}$ , vorzugsweise  $10^{-4}$  bis  $10^{-7}$  mol Übergangsmetall pro  $dm^3$  Lösemittel bzw. pro  $dm^3$  Reaktorvolumen angewendet. Das Aluminoxan oder die Mischung Aluminoxan/ $AlR^3$  wird in einer Konzentration von  $10^{-5}$  bis  $10^{-1}$  mol, vorzugsweise  $10^{-4}$  bis  $10^{-2}$  mol pro  $dm^3$  Lösemittel bzw. pro  $dm^3$  Reaktorvolumen verwendet. Prinzipiell sind aber auch höhere Konzentrationen möglich.

Wenn die Polymerisation als Suspensions- oder Lösungspolymerisation durchgeführt wird, wird ein für das Ziegler-Niederdruckverfahren gebräuchliches inertes Lösemittel verwendet. Beispielsweise arbeitet man in einem aliphatischen oder cycloaliphatischen Kohlenwasserstoff; als solcher sei beispielsweise Butan, Pentan, Hexan, Heptan, Decan, Isooctan, Cyclohexan, Methylcyclohexan genannt.

Weiterhin kann eine Benzin- bzw. hydrierte Dieselölfraktion benutzt werden. Brauchbar ist auch Toluol. Bevorzugt wird im flüssigen Monomeren polymerisiert.

20 Werden inerte Lösemittel verwendet, werden die Monomeren gasförmig oder flüssig zudosiert.

Die Dauer der Polymerisation ist beliebig, da das erfindungsgemäß zu verwendende Katalysatorsystem einen nur geringen zeitabhängigen Abfall der Polymerisationsaktivität zeigt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß die beschriebenen Metallocene im technisch interessanten Temperaturbereich zwischen 20 und 80°C mit hoher Polymerisationsaktivität 25 Polymere mit breiter, bimodaler oder multimodaler Molmassenverteilung, hoher Molmasse, hoher Syndiotaktizität und guter Kornmorphologie erzeugen.

Die erfindungsgemäßen Polymere eignen sich besonders gut zur Herstellung von Folien, insbesondere transparenter Folien, für Tiefzieh Anwendungen, Polyolefinschäume, Extrusionsanwendungen sowie für die Herstellung transparenter Hohlkörper und für das Hohlkörperblasformen allgemein.

30 Die nachfolgenden Beispiele sollen die Erfindung näher erläutern.

Es bedeuten:

VZ = Viskositätszahl in  $cm^3/g$

35  $M_w$  = Molmassengewichtsmittel in g/mol

$M_n$  = Molmassenzahlenmittel in g/mol

$M_w/M_n$  = Molmassendispersität

40 (= Molmassenverteilung)

} ermittelt durch  
Gelpermeations-  
chromatographie

45 SI = Syndiotaktischer Index ( $SI = rr + 1/2 mr$ ) ermittelt durch  $^{13}C$ -NMR-Spektroskopie

$n_{syn}$  = syndiotaktische Blocklänge

50 MFI (230/5) = Schmelzindex, gemessen nach DIN 53735; in dg/min

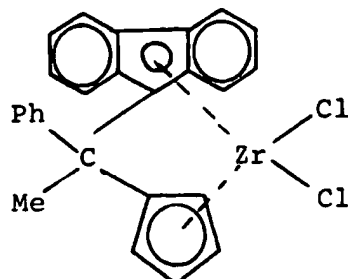
#### A. Herstellung von geeigneten Metallocenen

55

Alle nachfolgenden Arbeitsoperationen der Metallocensynthese wurden unter Schutzgas unter Verwendung absolutierter Lösemittel durchgeführt.

## Beispiel 1

(Phenyl(methyl)methylen)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid



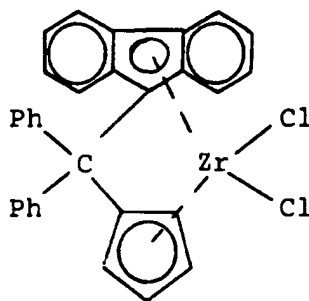
Eine Lösung von 11,4 g (67,8 mmol) 6-Methyl-6-phenyl-fulven in 40 cm<sup>3</sup> THF wurde bei Raumtemperatur mit einer Lösung von 67,8 mmol Lithiumfluoren in 50 cm<sup>3</sup> THF versetzt. Nach 2 h Rühren bei Raumtemperatur wurden 60 cm<sup>3</sup> Wasser zugesetzt. Die dabei ausgefallene Substanz wurde abgesaugt, mit Diethylether gewaschen und im Ölpumpenvakuum getrocknet. Man erhielt 19,1 g (84,2 %) 2,2-Cyclopentadienyl(9-fluorenyl)-ethylbenzol (korrekte Elementaranalysen; <sup>1</sup>H-NMR-Spektrum).

10,0 g (29,9 mmol) der Verbindung wurden in 60 cm<sup>3</sup> THF gelöst und bei 0 °C mit 26 cm<sup>3</sup> (65 mmol) einer 2,5 molaren Hexan-Lösung von n-Butyllithium versetzt. Nach 15 min Rühren wurde das Lösemittel im Vakuum abgezogen. Der verbleibende dunkelrote Rückstand wurde mehrmals mit Hexan gewaschen und im Ölpumpenvakuum getrocknet. Es wurden 15,6 g des roten Dilithiosalzes als THF-Addukt erhalten; es enthielt ca. 30 % THF.

Eine Suspension von 3,48 g (14,9 mmol) ZrCl<sub>4</sub> in 70 cm<sup>3</sup> CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> wurde bei -78 °C mit 14,9 mmol des Dilithiosalzes versetzt. Nach dem langsamen Aufwärmen auf Raumtemperatur wurde der Ansatz noch 1 h bei Raumtemperatur gerührt und über eine G4-Fritte filtriert; der Rückstand wurde mehrmals mit CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> nachgewaschen. Das rote Filtrat wurde vollständig eingengt und der orangerote Rückstand aus CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> umkristallisiert. Man erhielt 1,8 g (25 %) Methylphenylmethylen-(cyclopentadienyl-9-fluorenyl)zirkondichlorid als rosafarbenes Kristallpulver. <sup>1</sup>H-NMR-Spektrum (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>): 7,1 - 8,25 (m, Flu-H, Ph-H), 6,90 (m, Ph-H), 6,10-6,50 (m, Ph-H, Cp-H), 5,90, 5,75 (2 x m, Cp-H), 2,55 (s, CH<sub>3</sub>).

## Beispiel 2

Diphenylmethylen(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid



Eine Lösung von 5,10 g (30,7 mmol) Fluoren in 60 cm<sup>3</sup> THF wurde bei Raumtemperatur mit 12,3 cm<sup>3</sup> (30,7 mmol) einer 2,5 molaren Hexan-Lösung von n-Butyllithium langsam versetzt. Nach 40 min wurde die orange Lösung mit 7,07 g (30,7 mmol) Diphenylfulven versetzt und über Nacht gerührt. Zur dunkelroten Lösung wurden 60 cm<sup>3</sup> Wasser zugesetzt, wobei sich die Lösung gelb färbte, und die Lösung wurde ausgeethert. Die über MgSO<sub>4</sub> getrocknete Etherphase wurde eingengt und bei -35 °C der Kristallisation



überlassen. Man erhielt 5,1 g (42 %) 1,1-Gyclopentadienyl-(9-fluorenyl)diphenylmethan als beiges Pulver.

2,0 g (5,0 mmol) der Verbindung wurden in 20 cm<sup>3</sup> THF gelöst und bei 0 °C mit 6,4 cm<sup>3</sup> (10 mmol) einer 1,6 molaren Lösung von Butyllithium in Hexan versetzt. Nach 15 min Rühren bei Raumtemperatur wurde das Lösemittel abgezogen, der rote Rückstand im Ölpumpenvakuum getrocknet und mehrmals mit Hexan gewaschen. Nach dem Trocknen im Ölpumpenvakuum wurde das rote Pulver bei -78 °C zu einer Suspension von 1,16 g (6,00 mmol) ZrCl<sub>4</sub> gegeben. Nach dem langsamen Aufwärmen wurde der Ansatz noch 2 h bei Raumtemperatur gerührt. Die rosafarbene Suspension wurde über eine G3-Fritte filtriert. Der rosarote Rückstand wurde mit 20 cm<sup>3</sup> CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> gewaschen, im Ölpumpenvakuum getrocknet und mit 120 cm<sup>3</sup> Toluol extrahiert. Nach Abziehen des Lösemittels und Trocknen im Ölpumpenvakuum erhielt man 0,55 g des Zirkon-Komplexes in Form eines rosaroten Kristallpulvers.

Das orangerote Filtrat des Reaktionsansatzes wurde eingeeengt und bei -35 °C der Kristallisation überlassen. Aus CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> kristallisierten weitere 0,45 g des Komplexes. Gesamtausbeute 1,0 g (36 %). Korrekte Elementaranalysen. Das Massenspektrum zeigte M<sup>+</sup> = 556. <sup>1</sup>H-NMR-Spektrum (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>); 6,90-8,25 (m, 16, Flu-H, Ph-H), 6,40 (m, 2, Ph-H), 6,37 (t, 2, Cp-H), 5,80 (t, 2, Cp-H).

Das Metallocen Dimethylmethylen(fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid wurde in Anlehnung an die Literaturstelle J. Am. Chem. Soc. 110 (1988) 6255 hergestellt.

Um gezielt eine gewünschte Molmassenverteilung Mw/Mn (Breite der Molmassenverteilung, monomodal, bimodal oder multimodal) herzustellen, muß das Polymerisationsverhalten der in der Kombination dazu einzusetzenden Metallocene bekannt sein. Dazu wird von jedem der infrage kommenden Metallocene mindestens eine Testpolymerisation durchgeführt.

Die nachfolgenden Beispiele zeigen anhand von drei geeigneten Metallocenen das Vorgehen und die Möglichkeiten der Metallocenkombinationen zur Herstellung der erfindungsgemäßen breiten oder mehrmodalen Molmassenverteilung.

## 25 Testpolymerisationen

### Beispiel 3

Ein trockener 16-dm<sup>3</sup>-Reaktor wurde mit Stickstoff gespült und mit 10 dm<sup>3</sup> flüssigem Propylen befüllt. Dann wurden 30 cm<sup>3</sup> toluolische Methylaluminioxanlösung (entsprechend 40 mmol Al, mittlerer Oligomerisierungsgrad des Methylaluminioxans n = 20) zugegeben und der Ansatz wurde 15 Minuten bei 30 °C gerührt. Parallel dazu wurden 11,9 mg (0,023 mmol) Diphenylmethylen(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)-zirkondichlorid in 15 cm<sup>3</sup> toluolischer Methylaluminioxanlösung (20 mmol Al) gelöst. Nach 15 min wurde die Lösung in den Reaktor gegeben und die Polymerisationstemperatur auf 60 °C gebracht. Nach einer Polymerisationsdauer von 1 h wurde die Polymerisation beendet. Es wurden 0,95 kg Polypropylen, entsprechend einer Metallocenaktivität von 79,8 kg Polypropylen/g Metallocen x h, erhalten. VZ = 459 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 547 000, M<sub>n</sub> = 188 000, M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 2,9, SI = 96,5 %; n<sub>syn</sub> = 38,4; MFI 230/5 = < 0,1 dg/min.

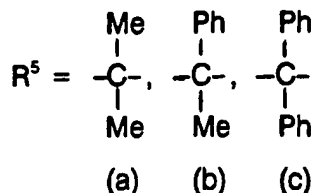
### 40 Beispiel 4

Verfahren wurde analog zu Beispiel 3, eingesetzt wurden jedoch 13,5 mg (0,027 mmol) Phenyl(methyl)-methylen(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid. Erhalten wurden 0,94 kg Polypropylen, entsprechend einer Metallocenaktivität von 69,5 kg Polypropylen/g Metallocen x h. VZ = 364 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 490 000 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 2,6; SI = 97,0 %; n<sub>syn</sub> = 40,2; MFI (230/5) = 0,25 dg/min.

### Beispiel 5

Verfahren wurde analog zu Beispiel 3, eingesetzt wurden jedoch 13,9 mg (0,032 mmol) Dimethylmethylen(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)-zirkondichlorid. Nach 2,5 h Polymerisation wurden 2,56 kg Polypropylen, entsprechend einer Metallocenaktivität von 73,7 kg Polypropylen/g Metallocen x h, erhalten. VZ = 125 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 95250 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 2,1; SI = 94,6 %; MFI (230/5) = 55 dg/min.

Die Beispiele 3 bis 5 zeigen, daß beispielsweise durch Variation des Restes R<sup>5</sup> in Formel I



Polymere mit niedriger (a), mittlerer (b) und hoher (c) Molmasse hergestellt werden können. Andere Modifikationen der Metallocenligandsphäre der Verbindungen der Formel I führen zu vergleichbaren Abstufungen. Die erfindungsgemäßen Kombinationen solcher Metallocene führen zu Produkten mit den erfindungsgemäßen breiten und mehrmodalen Molmassenverteilungen und werden in den folgenden Beispielen näher erläutert.

Herstellung von Polymeren mit breiter und/oder bimodaler Molmassenverteilung

#### Beispiel 6

Verfahren wurde analog zu Beispiel 3, als Metallocenkomponente wurde jedoch eine Mischung aus 11,9 mg (0,023 mmol) Diphenylmethylen-(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid und 12,9 mg (0,030 mmol) Dimethylmethylen(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid in 15 cm<sup>3</sup> der toluolischen Methylaluminoxanlösung aufgelöst.

Erhalten wurden 2,05 kg Polypropylen entsprechend einer Metallocengemischaktivität von 82,7 kg PP/g Metallocengemisch x h. VZ = 291 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 215 500 g/mol, M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 5,0 bimodal; SI = 96,1 %.

#### Beispiel 7

Beispiel 6 wurde wiederholt, verwendet wurden jedoch 11,9 mg (0,023 mmol) und 6,5 mg (0,015 mmol) der Metallocene. Erhalten wurden 1,35 kg Polypropylen entsprechend 73,0 kg PP/g Metallocengemisch x h. VZ = 353 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 285 500 g/mol, M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 5,4 bimodal; SI = 96,8 %.

#### Beispiel 8

Beispiel 6 wurde wiederholt, verwendet wurden jedoch 6,0 mg (0,011 mmol) und 12,9 mg (0,030 mmol) der Metallocene. Erhalten wurden 1,35 kg Polypropylen entsprechend 71,4 kg PP/g Metallocengemisch x h. VZ = 226 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 168 500 g/mol, M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 4,7, bimodal; SI = 96,0 %.

#### Beispiel 9

Beispiel 6 wurde wiederholt, verwendet wurden jedoch 20,0 mg (0,036 mmol) und 4,4 mg (0,010 mmol) der Metallocene. Erhalten wurden 1,87 kg Polypropylen, entsprechend 76,6 kg PP/g Metallocengemisch x h. VZ = 423 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 327 000 g/mol, M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 5,9, SI = 96,6 %.

#### Beispiel 10

Beispiel 6 wurde wiederholt, verwendet wurden jedoch 4,0 mg (0,007 mmol) und 16,3 mg (0,038 mmol) der Metallocene. Erhalten wurden 1,45 kg Polypropylen, entsprechend 71,4 kg PP/g Metallocengemisch x h. VZ = 167 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 110 000 g/mol, M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 4,0; SI = 95,9 %.

#### Beispiel 11

Ein trockener 150-dm<sup>3</sup>-Reaktor wurde mit Stickstoff gespült und bei 20 °C mit 80 dm<sup>3</sup> eines entaromati-

sierten Benzinschnittes mit dem Siedebereich 100-120 °C gefüllt. Dann wurde der Gasraum durch 5-maliges Aufdrücken von 2 bar Propylen und Entspannen stickstofffrei gespült.

Nach Zugabe von 50 l flüssigem Propylen wurden 320 cm<sup>3</sup> toluolische Methylaluminioxanlösung (entsprechend 500 mmol Al, Molmasse nach kryoskopischer Bestimmung 1180 g/mol) zugegeben und der Reaktorinhalt auf 40 °C aufgeheizt. Durch Zudosierung von Wasserstoff wurde ein Wasserstoffgehalt im Gasraum des Reaktors von 0,1 Vol.-% eingestellt und später dann durch Nachdosierung während der gesamten Polymerisationszeit gehalten (on-line Gaschromatographie).

19,1 mg (0,039 mmol) Phenyl(Methyl)methylen(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)zirkondichlorid und 21,5 mg (0,039 mmol) Diphenylmethylen-(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)zirkondichlorid wurden gemischt und der Feststoff in 96 ml toluolischer Methylaluminioxanlösung (entsprechend 150 mmol Al) gelöst und nach 15 Minuten in den Reaktor gegeben. Durch Kühlung wurde das Polymerisationssystem 5 h bei 40 °C gehalten. Die Polymerisation wurde durch Zugabe von 2 bar CO<sub>2</sub>-Gas gestoppt und das gebildete Polymer auf einer Drucknutsche vom Suspensionsmedium abgetrennt.

Die Trocknung des Produktes erfolgte 24 h bei 80 °C/200 mbar.

Es wurden 15,3 kg Polymerpulver, entsprechend einer Aktivität des Metallocengemisches von 75,2 kg PP/g Metallocengemisch x h, erhalten. VZ = 523 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 368 000 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 4,2 bimodal; SI = 97,4 %.

#### Beispiel 12

Beispiel 11 wurde wiederholt, die Metalloceneinwaagen betragen jedoch 19,1 mg (0,039 mmol) und 11,0 mg (0,020 mmol), die Polymerisationstemperatur betrug 37 °C. Es wurden 9,7 kg Polymerpulver, entsprechend einer Aktivität von 64,5 kg PP/g Metallocengemisch x h, erhalten.

VZ = 428 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 326 000 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,4; SI = 97,2 %.

#### Beispiel 13

Beispiel 11 wurde wiederholt, die Metalloceneinwaagen betragen jedoch 6,0 mg (0,012 mmol) und 12,4 mg (0,022 mmol) und die Polymerisationszeit war 7,5 h.

Es wurden 9,5 kg Polymerpulver, entsprechend einer Aktivität von 68,8 kg PP/g Metallocengemisch x h, erhalten.

VZ = 618 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 457 000 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,4 bimodal; SI = 97,0 %.

#### Beispiel 14

Beispiel 11 wurde wiederholt, die Metalloceneinwaagen betragen jedoch 20,0 mg (0,040 mmol) und 4,8 mg (0,009 mmol). Die Polymerisationstemperatur betrug 35 °C. Es wurden 8,85 kg Polymerpulver, entsprechend einer Aktivität von 71,4 kg PP/g Metallocengemisch x h, erhalten.

VZ = 321 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 223 500 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,1; SI = 96,5 %.

#### Beispiel 15

Beispiel 11 wurde wiederholt, die Metalloceneinwaagen betragen jedoch 7,9 mg (0,016 mmol) und 44,3 mg (0,080 mmol). Es wurde kein Wasserstoff verwendet, die Polymerisationstemperatur betrug 44 °C. Es wurden 16,7 kg Polymerpulver, entsprechend einer Aktivität von 63,9 kg PP/g Metallocengemisch x h, erhalten.

VZ = 766 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 537 000 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,4; SI = 97,0 %.

#### Beispiel 16

Ein trockener 24-dm<sup>3</sup>-Reaktor wurde mit Stickstoff gespült und mit 12 dm<sup>3</sup> flüssigem Propylen sowie mit 35 cm<sup>3</sup> toluolischer Methylaluminioxanlösung (entsprechend 52 mmol Al, mittlerer Oligomerisierungsgrad n = 18) beschickt. Der Inhalt wurde bei 30 °C 30 Minuten gerührt. Parallel dazu wurden 6,0 mg (0,011 mmol) Diphenylmethylen(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)-zirkondichlorid, 5,0 mg (0,010 mmol) Phenyl(methyl)methylen(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)-zirkondichlorid und 6,0 mg (0,014 mmol) Dimethylmethylen(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)-zirkondichlorid als Feststoffgemisch in 13,5 cm<sup>3</sup> toluolischer Methylaluminioxanlösung (20 mmol Al) gelöst. Nach 30 Minuten wurde die violettrote Lösung in den Reaktor gegeben, das Polymerisationssystem durch Wärmezufuhr in 5 Minuten auf 60 °C gebracht und 2 h bei dieser Temperatur

gehalten.

Gestoppt wurde die Polymerisation durch die Zugabe von 1 Mol CO<sub>2</sub>-Gas.

Es wurden 2,3 kg Polymerprodukt erhalten. Die Aktivität betrug somit 67,6 kg PP/g Metallocengemisch x h.

VZ = 272 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 212 500 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,6; SI = 96,8 %.

5

#### Beispiel 17

Beispiel 16 wurde wiederholt, neben Propylen und Methylaluminoxanlösung wurden zusätzlich jedoch noch 10 Ndm<sup>3</sup> Wasserstoff und 100 g Ethylen in den Reaktor eindosiert. Die Polymerisationstemperatur betrug 50 °C. Unter diesen Polymerisationsbedingungen wurden 2,10 kg Polymerprodukt, entsprechend einer Aktivität von 61,8 kg PP/g Metallocengemisch x h, erhalten.

10

VZ = 330 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 205 500 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,9; 4,3 % Ethylengehalt, SI = 96,0 %.

#### Beispiel 18

15

Ein trockener 16-dm<sup>3</sup>-Reaktor wurde mit Stickstoff gespült und mit 10 dm<sup>3</sup> flüssigem Propylen sowie mit 30 cm<sup>3</sup> toluolischer Methylaluminoxanlösung (entsprechend 40 mmol Al, mittlerer Oligomerisierungsgrad des Methylaluminoxans war n = 20) beschickt. Der Inhalt wurde bei 30 °C 10 Minuten gerührt.

20

Parallel dazu wurden 8,3 mg (0,015 mmol) Diphenylmethylen(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)zirkondichlorid und 7,4 mg (0,015 mmol) Phenyl(methyl)methylen-(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)zirkondichlorid in 15 cm<sup>3</sup> toluolischer Methylaluminoxanlösung (20 mmol Al) gelöst und nach 10 Minuten in den Reaktor eindosiert. Die Polymerisationstemperatur wurde 6,5 h bei 45 °C gehalten. Gestoppt wurde die Polymerisation durch schnelles Abgasen von überschüssigem Propylen. Es wurden 1,95 kg Polymerprodukt erhalten, die Polymerisationsaktivität betrug somit 19,1 kg PP/g Metallocengemisch x h.

25

VZ = 556 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 427 500 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,9; SI = 97,6 %.

#### Beispiel 19

Ein trockener 16-dm<sup>3</sup>-Reaktor wurde mit Stickstoff gespült und mit 24 Ndm<sup>3</sup> (entsprechend 1,5 bar) Wasserstoff, 10 dm<sup>3</sup> flüssigem Propylen sowie mit 30 cm<sup>3</sup> toluolischer Methylaluminoxanlösung (entsprechend 40 mmol Al, mittlerer Oligomerisierungsgrad des Methylaluminoxans war n = 20) beschickt. Der Inhalt wurde bei 30 °C 15 Minuten gerührt. Parallel dazu wurden 8,0 mg (0,014 mmol) Diphenylmethylen(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)zirkondichlorid und 8,0 mg (0,016 mmol) Phenyl(methyl)methylen-(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)zirkondichlorid in 7,5 cm<sup>3</sup> toluolischer Methylaluminoxanlösung (10 mmol Al) gelöst und nach 15 Minuten in den Reaktor eindosiert. Die Polymerisationstemperatur wurde auf 60 °C eingestellt und 1 h durch Kühlung gehalten.

35

Es wurden 1,30 kg Polymerprodukt, entsprechend einer Aktivität von 81,3 kg PP/g Metallocengemisch x h, erhalten.

VZ = 169 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 116 800 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,0; SI = 96,8 %.

40

#### Beispiel 20

Es wurde verfahren wie in Beispiel 19, verwendet wurden jedoch 40 Ndm<sup>3</sup> (2,5 bar) Wasserstoff und das Metallocengemisch bestand aus 8,0 mg (0,014 mmol) Diphenylmethylen-(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)zirkondichlorid und 9,0 mg (0,021 mmol) Dimethylmethylen(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)zirkondichlorid. Die Polymerisationstemperatur war 70 °C. Es wurden 3,23 kg Polymerprodukt, entsprechend einer Aktivität von 190,5 kg PP/g Metallocengemisch x h, erhalten. VZ = 105 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 68 600 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,0; SI = 96,0 %.

45

#### Beispiel 21

Es wurde verfahren wie in Beispiel 20, es wurden jedoch nur 16 Ndm<sup>3</sup> (1 bar) Wasserstoff verwendet, und die Polymerisationstemperatur betrug 65 °C.

Es wurden 2,54 kg Polymerprodukt, entsprechend einer Aktivität von 149,4 kg PP/g Metallocengemisch x h, erhalten.

50

VZ = 182 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 128 500 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,4; SI = 96,5 %.

#### Beispiel 22

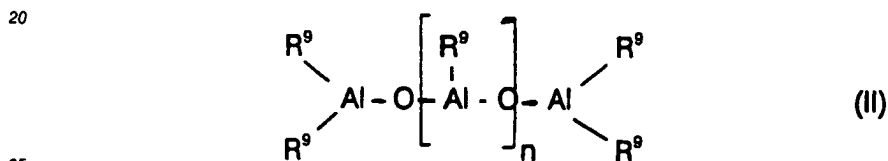
Es wurde verfahren wie in Beispiel 19, es wurden jedoch nur 16 Ndm<sup>3</sup> (1 bar) Wasserstoff verwendet. Statt 30 cm<sup>3</sup> toluolischer Methylaluminioxanlösung wurden 20 mmol Trimethylaluminium (als 20 Gew.-%ige Lösung in Toluol) in den Kessel gegeben, und die Polymerisationstemperatur betrug 55 °C, Polymerisationsdauer 3h. Es wurden 1,43 kg Polymerprodukt, entsprechend einer Aktivität von 29,7 kg PP/g

5 Metallocengemisch x h, erhalten.

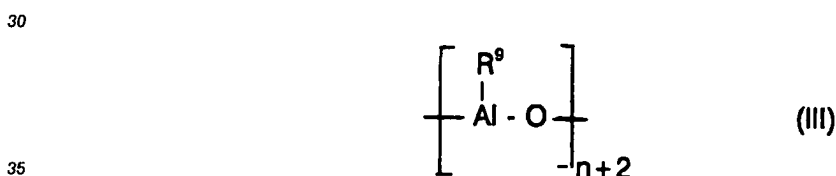
VZ = 184 cm<sup>3</sup>/g; M<sub>w</sub> = 130 500 g/mol; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> = 3,2; SI = 97,1 %.

### Patentansprüche

- 10 1. Verfahren zur Herstellung eines syndiotaktischen Polyolefins mit einer Molmassenverteilung M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> ≥ 3, die monomodal, bimodal oder multimodal sein kann, durch Polymerisation oder Copolymerisation eines Olefins der Formel R<sup>a</sup>CH = CHR<sup>b</sup>, worin R<sup>a</sup> und R<sup>b</sup> gleich oder verschieden sind und ein Wasserstoffatom oder einen Alkylrest mit 1 bis 14 C-Atomen bedeuten, oder R<sup>a</sup> und R<sup>b</sup> mit den sie verbindenden Atomen einen Ring bilden können, bei einer Temperatur von -60 bis 200 °C, bei einem
- 15 Druck von 0,5 bis 100 bar, in Lösung, in Suspension oder in der Gasphase, in Gegenwart eines Katalysators, welcher aus einer Übergangsmetallkomponente (Metallocen) und einem Aluminioxan der Formel II

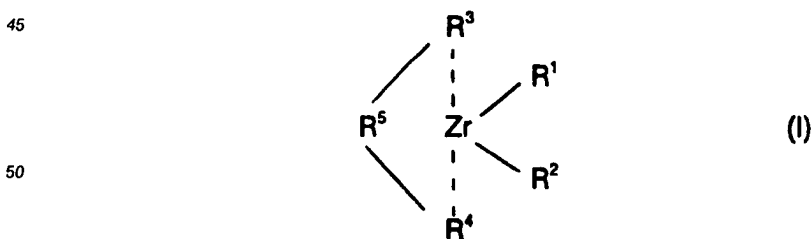


für den linearen Typ und/oder der Formel III



für den cyclischen Typ, wobei in den Formeln II und III die Reste R<sup>9</sup> gleich oder verschieden sein können und eine C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>-Alkylgruppe, eine C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>-Fluoralkylgruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>18</sub>-Arylgruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>18</sub>-Fluorarylgruppe oder Wasserstoff bedeuten und n eine ganze Zahl von 0 bis 50 ist, oder anstelle des Aluminioxans aus einer Mischung eines Aluminioxans der Formel II und/oder der Formel III mit einer Verbindung AlR<sup>9</sup><sub>3</sub> besteht, dadurch gekennzeichnet, daß als Übergangsmetallkomponente mindestens 2

40 Metallocene der Formel I

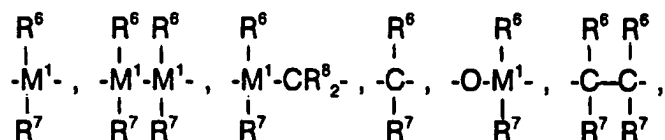


55 verwendet werden, die stereorigid sind und deren Molekülteil, der durch Zr und die Substituenten R<sup>1</sup>-R<sup>4</sup> gebildet wird, C<sub>s</sub>-Symmetrie oder leicht gestörte C<sub>s</sub>-Symmetrie aufweist, wobei R<sup>1</sup> und R<sup>2</sup> gleich oder verschieden sind und ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkylgruppe, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkoxygruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Arylgruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Aryloxygruppe, eine C<sub>2</sub>-

C<sub>10</sub>-Alkenylgruppe, eine C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkylgruppe, eine C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Alkylarylgruppe oder eine C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkenylgruppe bedeuten,

R<sup>3</sup> und R<sup>4</sup> verschieden sind und einen ein- oder mehrkernigen Kohlenwasserstoffrest, welcher mit dem Zentralatom Zr eine Sandwichstruktur bilden kann, bedeuten,

R<sup>5</sup>



= BR<sup>6</sup>, = AlR<sup>6</sup>, -Ge-, -Sn-, -O-, -S-, = SO, = SO<sub>2</sub>, = NR<sup>6</sup>, = CO, = PR<sup>6</sup> oder = P(O)R<sup>6</sup> ist, wobei R<sup>6</sup>, R<sup>7</sup> und R<sup>8</sup> gleich oder verschieden sind und ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkylgruppe, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Fluoralkylgruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Fluorarylgruppe, eine C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Arylgruppe, eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkoxygruppe, eine C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkenylgruppe, eine C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkylgruppe, eine C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkenylgruppe oder eine C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Alkylarylgruppe bedeuten oder R<sup>6</sup> und R<sup>7</sup> oder R<sup>6</sup> und R<sup>8</sup> jeweils mit den sie verbindenden Atomen einen Ring bilden, und M<sup>1</sup> Silizium, Germanium oder Zinn ist.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in Formel I die Substituenten R<sup>1</sup> und R<sup>2</sup> Chlor bedeuten.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Metallocene der Formel I (Arylalkyliden)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)-zirkondichlorid, (Diarylmethylen)(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)-zirkondichlorid und/oder (Dialkylmethylen)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)-zirkondichlorid verwendet werden.
4. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Metallocene der Formel I (Methyl(phenyl)methylen)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)zirkondichlorid, (Diphenylmethylen)(9-fluorenyl)-(cyclopentadienyl)zirkondichlorid und/oder (Dimethylmethylen)(9-fluorenyl)(cyclopentadienyl)-zirkondichlorid verwendet werden.
5. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß Propylen polymerisiert wird.